



TITLE:

細菌の走性(「自己組織・自己制御系の統計力学とその周辺」研究会報告,基研研究会報告)

AUTHOR(S):

塩井, 純一; 大沢, 文夫

CITATION:

塩井, 純一 ...[et al]. 細菌の走性(「自己組織・自己制御系の統計力学とその周辺」研究会報告,基研研究会報告). 物性研究 1973, 20(2): A29-A35

ISSUE DATE:

1973-05-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/88626>

RIGHT:

10) 従って，ゾウリムシ走熱性は，一秒あたり 0.055°C 以上の温度変化をうけると適温の方に向っているゾウリムシの運動速度が大きくなることで説明できる。

11) (Ⅱ) 式で示すような急激な刺激変化に対する過渡的応答は，高等動物の感覚受容器で一般にみられる。ゾウリムシの体表面膜が温度受容器であるなら（おそらくそうであろう），その膜においてすでに温度が上昇したか下降したかを区別していることになる。

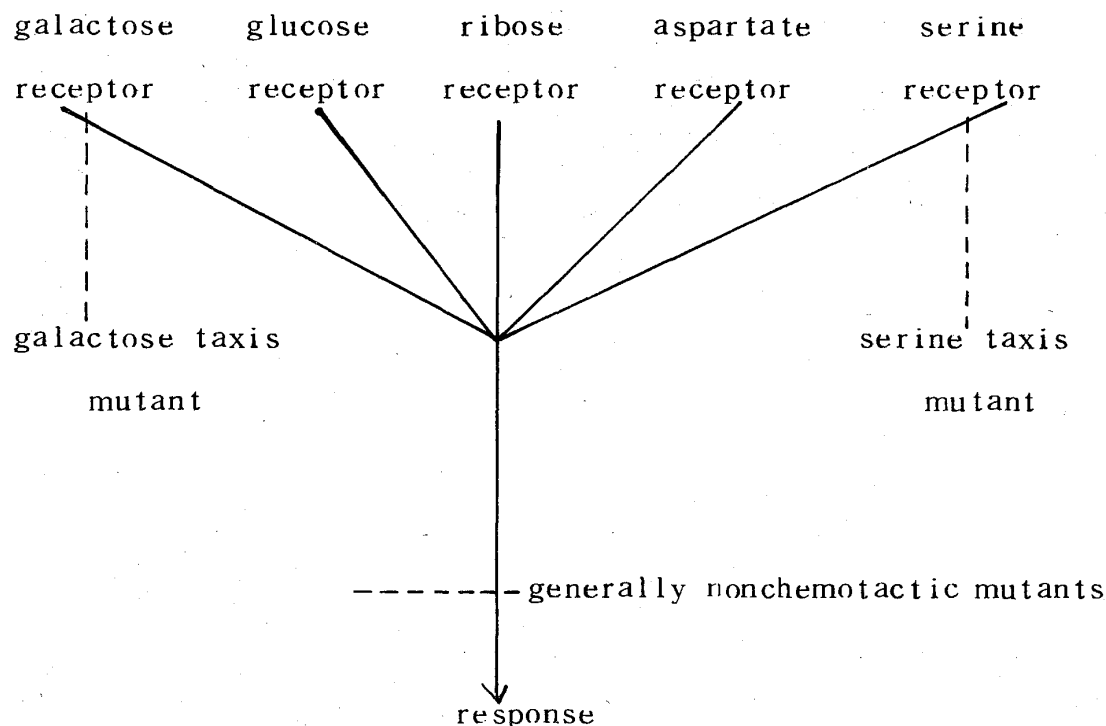
細菌の走性

名大・理 塩井純一，大沢文夫

19世紀の末から今世紀初めにかけて Pfeffer Jennings 等により微小生物の行動（殊に走性）が精力的に調べられた。その後の生化学，分子生物学の華々しい発展の中で，この方面の仕事は途絶えたかに見えたが，最近，脳・神経系あるいは行動といったテーマに関心が高まるにつれ，その最も単純な系として，このような微生物系が注目されだした。

1966年頃から J. Adler は微生物遺伝の technique を用いて大腸菌の走化性の機能解析を試みた。その結果，菌が刺激物に集まるのはその代謝産物，あるいは代謝過程で得られるエネルギーによるものではなく，まさに刺激物自身であることがわかった。更に構造的に似た刺激物同志は走化性について拮抗阻害し合うが，全然構造の違った刺激物同志は阻害しない事実から，それぞれの group の刺激物と特異的に反応する receptor という実体概念を提唱した（図1）。実際ある特定の group の刺激物に対する走性だけが欠損した mutant が得られた。¹⁾ 更に galactose receptor については galactose binding protein がその実体の一部として同定された。²⁾ また各 receptor 毎の刺激受容から行動発現までの間には，刺激物の種類によらない共通の

図 1



pathway があり，そこに3種の異なる遺伝子が関与していることもわかった。³⁾

他方，これらの機能解析に対応する行動解析については，先に述べた1900年前後の定性的研究は全く不十分なものであった。そこで私はこの定量的解析を試みたので，その若干を報告する。

暗視野顕微鏡下で5秒間の長時間露出写真撮映を行なうと，菌のなめらかな運動軌跡が得られる。光源と顕微鏡との間に図2のような回転セクターを入れて毎秒2回転させると，点線状の軌跡が得られしかも方向もわかる。速度は軌跡に沿った長さを測ってきめる。向きを変える大きさは図2のように定義する。但し5秒を単位時間とする。速度の分布をとると図3，変角の分布をとると図4のようになり，それぞれかなりの巾をもつ。平均値はその誤差を数%オーダーにするため，数百個体の測定値の平均としてきめた。

各刺激濃度（ガラクトース）に数時間適応させて速度を測るとそれは濃度によらず一定であった。（図5） 薄い濃度から濃い濃度に（図6），逆に濃い濃度から薄い濃度に（図7）移して直後（1分後）の速度にも変化は見られなかった。各刺激濃度に数時

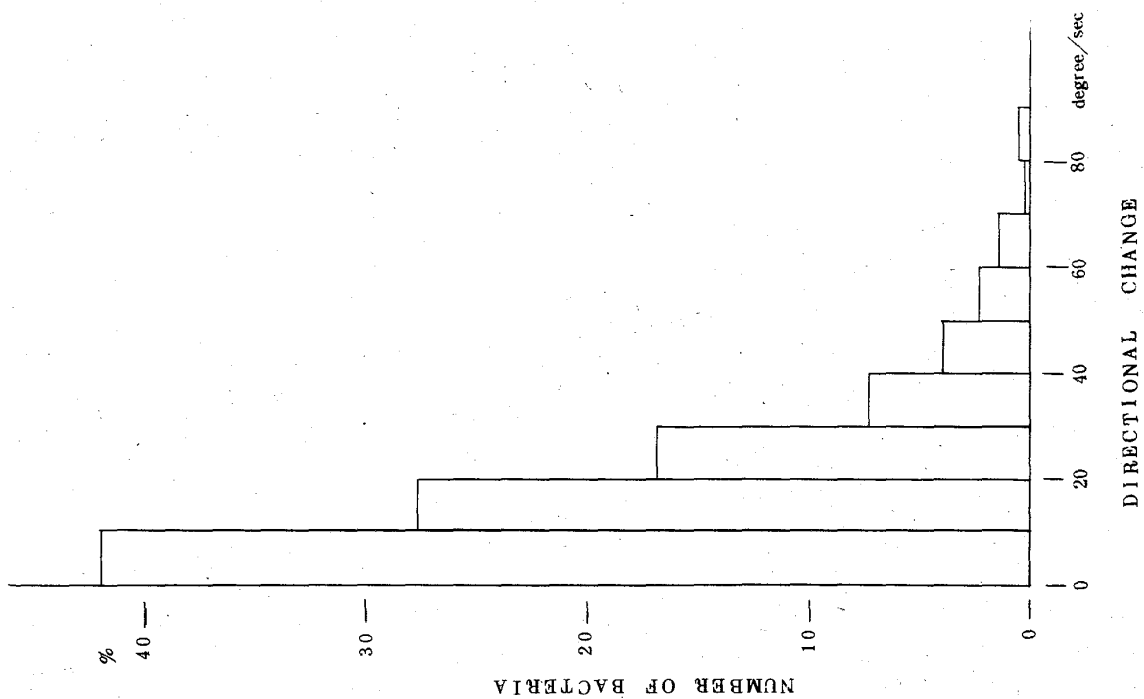


図 4

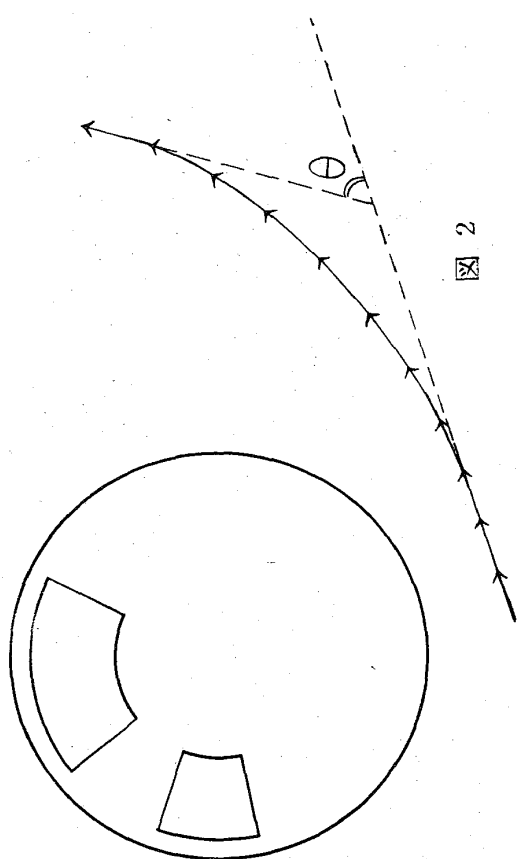


図 2

SWIMMING VELOCITY DISTRIBUTION OF E. COLI

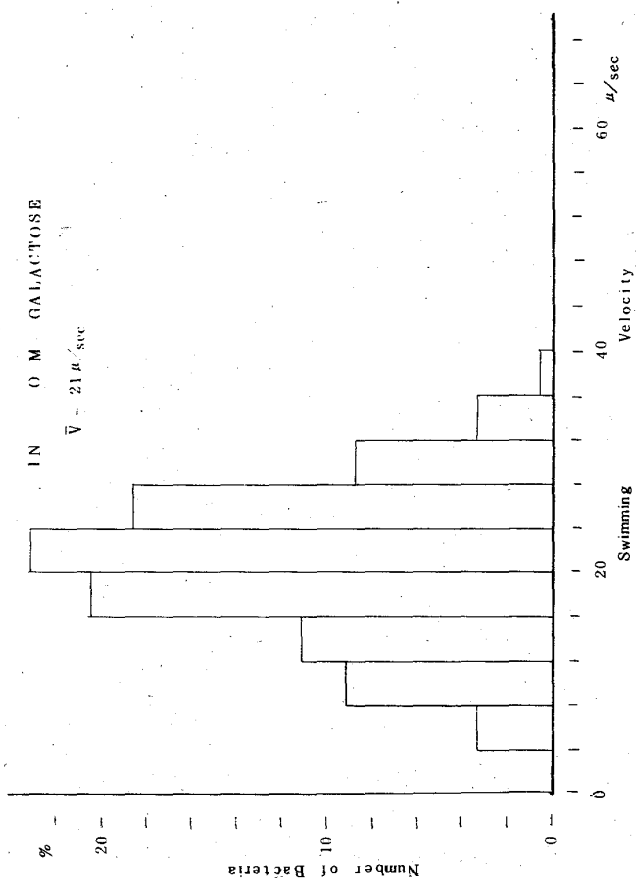


図 3

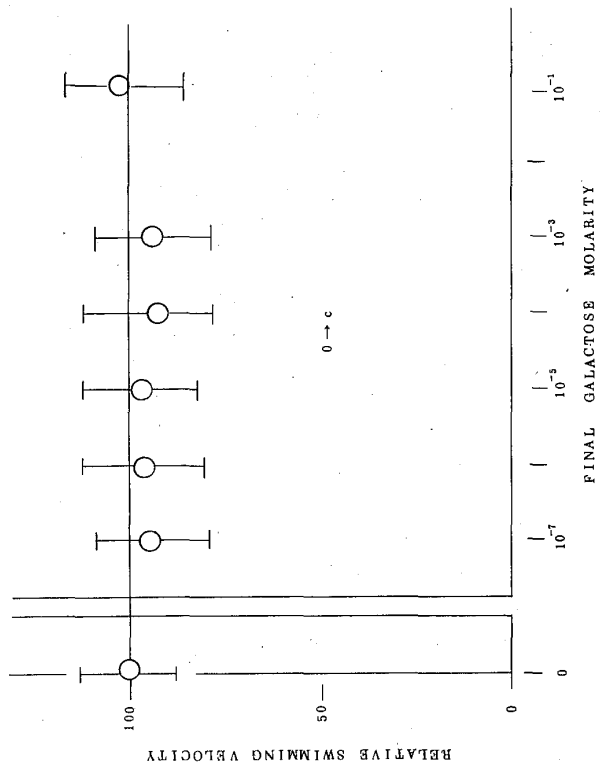


図 6

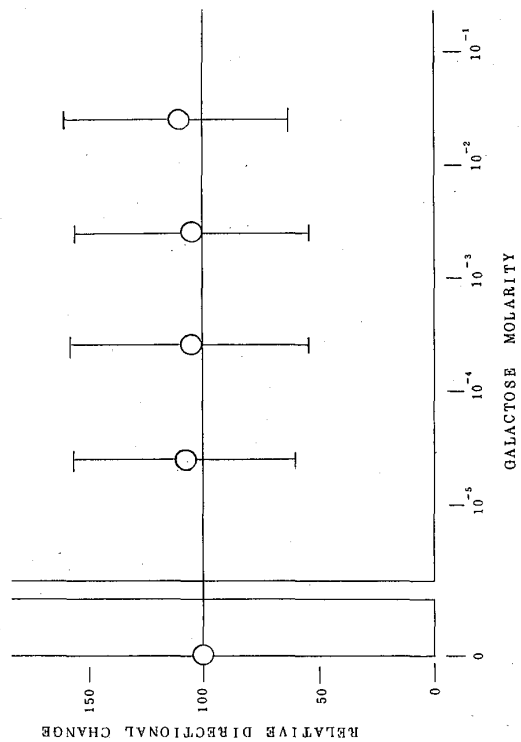


図 8

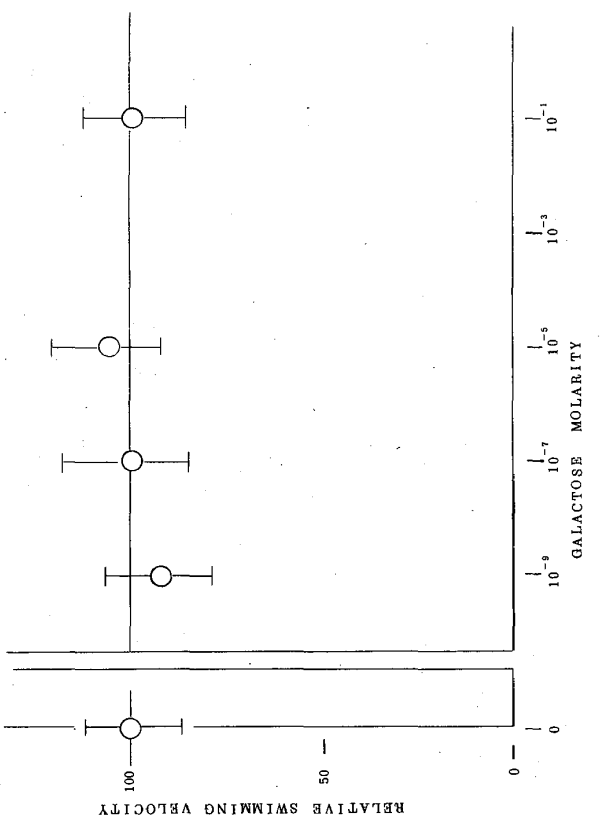


図 5

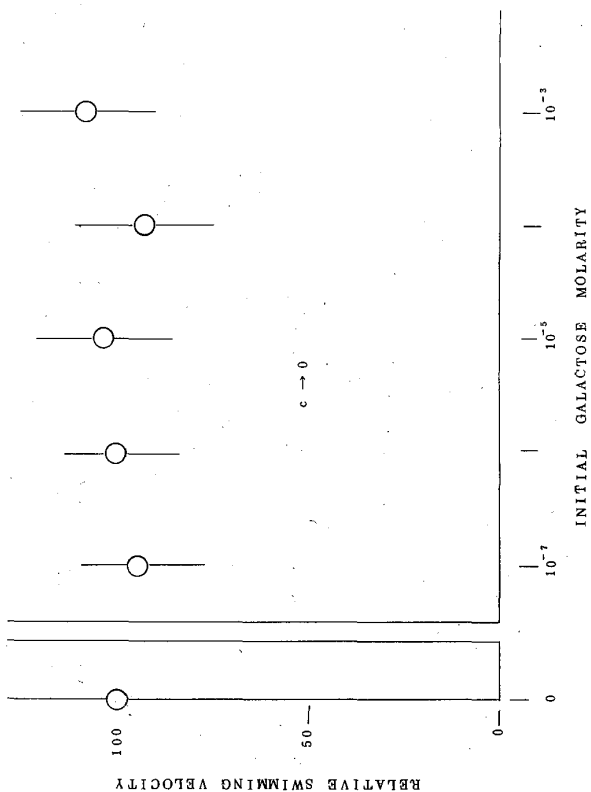


図 7

間適応させた後の向きの変化を見たのが図 8 で濃度依存性はない。次に刺激勾配下で速度や向きを変える大きさを見たのが表 1 と表 2 である。勾配は適当な濃度の糖溶液を入れた毛細管を菌の泳いでいる液の中につっこむことによって作る。管内から糖が拡散して管付近に濃度勾配ができる。勾配を上昇するものと下降するもので速度には違いがないが方向変化には違いが見られる。何回かの同様な実験から、勾配を上昇するものはコントロールに比べまっすぐであり、下降するものはコントロールに比べ曲がりが多いことがわかった。刺激濃度を増加させたり、減少させた直後の向きの変化についてのデータはまだ得られていないが、今迄の結果をまとめると表 3 のようになる。

ごく最近になり、やはり J. Adler 等の仕事に触発されて細菌の走化性の行動レベルの研究がいくつか出た。Koshland 等は細長い cell の中に一次元の刺激濃度勾配を作った。いろいろな type の勾配を作って菌の集まる様子を見た結果、濃度 C 、あるいは濃度の空間勾配 $\frac{dc}{dx}$ を感じているのではなく $\frac{dc}{c}$ を感じているらしいことが結論された。⁴⁾ 更に stopped flow を用いて刺激濃度を増減した直後(数秒後)の菌の運動軌跡から、濃度が増加するとまっすぐ泳ぎしかも速くなり、濃度が減少すると、左右前後にはげしくゆれ動き速度が減少することを観察した。そしておそらく、 $\frac{dc}{c}$ の時間変化を感じるものが走性の原因であろうとした。⁵⁾ ただこの場合、激しい攪拌による mechanical な損傷が問題になるし、更に実験の走性においては刺激濃度勾配は連続的であり、上のような反応が実際に起きているか否か疑問が残る。他方 Berg, Brown は optical fibre を用いて一匹の菌を三次元的に長時間追跡できる装置を作り computer と組み合わせて、刺激濃度勾配下での菌の運動を解析した。その結果、菌の運動は比較的滑らかに運動する run と、急に向きを変え、しかも速度を落とす twiddle とに区別され、この twiddle の頻度が刺激勾配を上るときに減少することを見、この性質によって走化性を説明した。⁶⁾ ただ我々の観察ではこういった不連続的運動のない Sample を用いており、twiddle が走性に必要であるという考えはうけいれがたい。

表 1

SWIMMING VELOCITY

Distance from mouth of capillary mm.	Time	Gradient	
	min	Up	Down
[0.0, 0.7]	[4.0, 5.0]	101	98
[1.6, 2.3]	[8.5, 9.5]	99	99
[∞ , $\infty+0.7$]	[4.0, 5.0]	104	106
	[5.5, 7.0]	97	95

表 2

DIRECTIONAL CHANGE

Distance from mouth of capillary mm.	Time	Gradient	
	min.	Up	Down
[0.0, 0.7]	[1.0, 2.5]	73	91
[6.6, 7.3]	[2.5, 4.0]	93	124
[∞ , $\infty+0.7$]	[1.5, 2.5]	105	106
	[2.5, 4.0]	99	93

表 3

TAXIS

I. Kinesis (direction of turning is always random)

stimulation response		absolute intensity level	intensity change	
			increase	decrease
orthokinesis	speed of movement	×	×	×
	frequency of movement	×	×	×
klinokinesis	angle of turning	×	?	○ ?
	frequency of turning	×	?	×

II. Taxis

×

引用文献

- 1 J. Adler 1969 Science 166, 1588
- 2 G. L. Hazelbauer & J. Adler 1971 Nature New Biology 230, 101
- 3 J. B. Armstrong & J. Adler 1969 J. Bacteriol. 97, 156
- 4 F. W. Dahlquist, P. Lovely & D. E. Koshland, jun. 1972 Nature New Biology 236 120
- 5 R. M. Macnab & D. E. Koshland, jun. 1972 Proc. N. A. S. 69 2509
- 6 H. C. Berg & D. A. Browe 1972 Nature 239 500